

精密位置決め装置の精密組立作業への適用

Application of Superprecision Positioner to Precise Assembly Work

電子部品、電子機器産業などを中心に製造分野での自動化が急速に進みつつある。そして、部品の精密化、高集積化に伴い、加工、組立、検査の各工程で、部品と加工機あるいは部品相互の相対的な位置決めを、精密に行なう微細作業の自動化が要望されるようになってきた。

このたび、繰返し位置決め精度が $\pm 5 \mu\text{m}$ で、センサによる計測データに基づく自動位置決め機能をもつ直交形精密位置決め装置を開発した。

本装置を自動組込機に適用し、挿入部直径100mm、はめ合い最小すきま $18 \mu\text{m}$ 、重量15kgの精密穴・軸部品を非接触で挿入し組み立てる作業を実現した。組立て時の部品相互の接触によるきずや発塵を防止し、精密組立品の信頼性の向上を達成することができた。

今後、本装置に加工機、計測機などを搭載し、光モジュールなどの精密電子機器の自動微細加工・組立ステーションなどに適用すれば信頼性を向上し、省力化を図ることが可能となろう。

木村信二郎* *Shinjrō Kimura*
 戸井田 滋* *Shigeru Toida*
 坂田 智昭** *Tomoaki Sakata*
 長谷川 寛** *Hiroshi Hasegawa*

1 緒 言

ロボットの高精度化、高機能化により、自動車、電子機器などの製造工程を中心に、生産性、品質向上を目的とした自動化が普及しつつある。この中で、自動化の対象となる部品の高精度化に伴って、人手では困難な微細作業の自動化の要望が強まっている。

高精度な作業の自動化では、通常、対象とする部品相互あるいは工具と部品との相対位置の精度の良い制御を必要とすることが多い。これは往々にして、部品を基準面などに押し付けて位置を決める方法では実現できない。

このような作業の自動化の要求にこたえるため、繰返し位置決め精度が $\pm 5 \mu\text{m}$ の直交形精密位置決め装置を開発した。更に、同時にセンサによる計測データに基づいて、位置をシフトできる機能をもたせている。

このたび、本装置を精密機械部品の自動組込機に適用し、非接触はめ合い作業の自動化を実現した。以下、精密位置決め装置とこれを適用した自動組込機について述べる。

2 直交形精密位置決め装置

2.1 全体の構成

精密位置決め装置は、装置本体、制御盤、ティーチングボックスで構成する。装置本体の外観を図1に、標準仕様を表1に示す。

2.2 装置本体

装置本体は、前後、左右、上下方向(それぞれX、Y、Z軸と略称する。)に移動するテーブルと、対象部品などを把持するハンドを取り付けるZ軸周りの回転テーブルの、4自由度を標準とする直交形テーブル構造である。各テーブルはアルミ製とし、形状は有限要素法による剛性評価を行ない、軽量化を図った。

駆動機には直流サーボモータを使用し、送り・案内機構には、摺動抵抗力や寿命などを考慮して適正な予圧をかけ、バックラッシュをなくした鋼製のボールねじと、直動形玉軸受

を使用している。この送り・案内機構要素とテーブルの材質が異なるため、温度が変化すると両者の間に伸縮量の差が生ずる。その結果として両要素間に反りやねじれなどが生じ、テーブルの駆動抵抗が変化し、位置制御精度を低下させる。本装置では、機構要素の固定にはばねを利用したフローティング機構を採用することにより、この伸縮量の差を逃がし、温度変化の精度への影響をなくしている。

2.3 制御装置

制御装置は、16ビットマイクロプロセッサを使用したマルチプロセッサシステムを構成している。また、装置本体の外

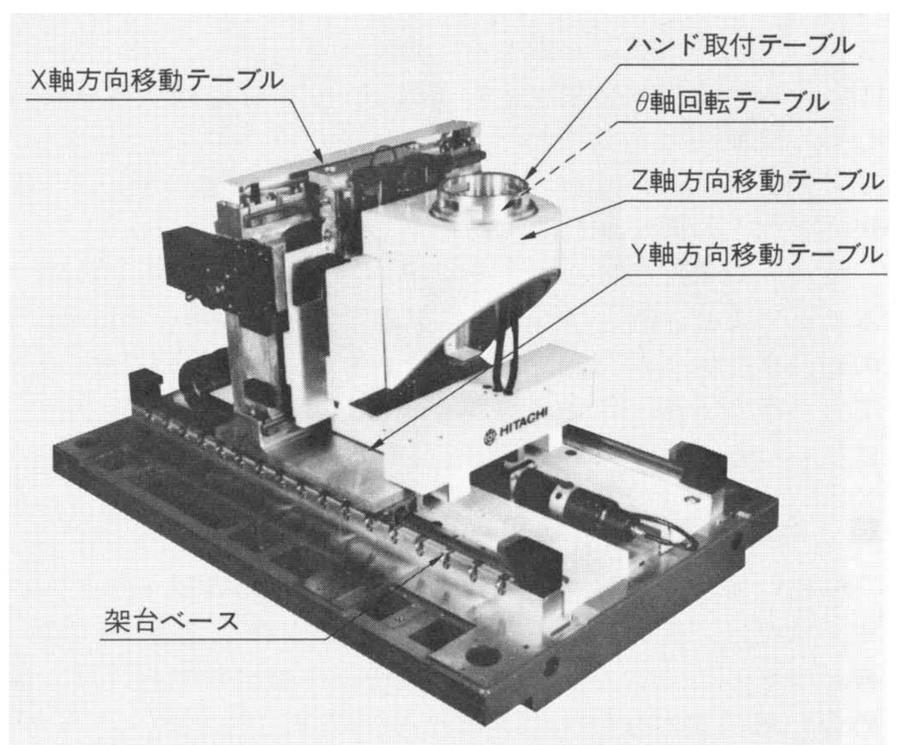


図1 精密位置決め装置本体の外観 有限要素法による剛性評価に基づく、高剛性・軽量化した直交形テーブル構造である。X、Y、Z軸及びZ軸周りの回転の4自由度を標準とする。

* 日立製作所土浦工場 ** 日立製作所生産技術研究所

表1 精密位置決め装置の仕様 装置の主な仕様を示す。可搬重量が大きく、繰返し位置決め精度が良いことが分かる。

項目	仕様
構造	直交形
自由度	4
駆動機器	直流サーボモータ
送り機構	ボールねじ
可動範囲 (X, Y, Z, θ)	700×400×200(mm) 360°
最大速度	300mm/s
繰返し位置決め精度	±5μm
可搬重量	25kg(ハンド含む。)
本体重量	約350kg
教示方式	ティーチングプレイバック+センサティーチング
制御軸数	同時6軸
記憶方式	磁気バブルメモリ
記憶容量	プログラムポイント数 100 ジョブステップ数 1,000

に、周辺機の2軸を同時に駆動できる機能をもっており、同時6軸制御が可能である。本装置は、大重量部品を高精度で位置決めするため、特に停止時の衝撃による残留振動を防止する目的で、滑らかに減速・停止させている。更に、テーブルの駆動系には、駆動抵抗に相当する定常偏差が残るが、この偏差を補償する積分機能をもつ位置決め制御方式を採用した。

2.4 本装置の特長

本装置の特長は、(1) 可搬重量25kgで搬送重量が比較的大きいこと、(2) 可動範囲が700mm×400mm×200mmと広いこと、(3) 繰返し位置決め精度が±5μmと高精度であること、(4) センサなどによる計測情報に基づき動作することが可能であること、である。

可搬重量が25kgと大きく、計測情報に基づき動作が可能なたため〔上記特長(1)、(4)〕、対象部品を搬送位置決めするだけでなく、下記の作業に適用することができる。

- (1) センサや視覚装置などを搭載し、相手部品の状態を認識して、位置決めすることができる。
- (2) 例えば、YAGレーザなどの小形の加工機を搭載し、位置決めと加工の同時作業が可能である。

また、対象部品に合ったハンドを、回転テーブル上に設けることにより、例えば、円筒状部品では最大外径300mm程度の部品まで搬送が可能であり、それ以上の寸法のものについても、把持方法、作業姿勢などの検討により対応できるようにしている。

3 自動組込機への適用

精密位置決め装置を適用した自動組込機の外観を図2に示す。本機は、図3及び表2に示す精密部品を、非接触ではめ合わせるものである。従来、はめ合い作業の自動化には、はめ合い部品間の接触反力を利用した力フィードバック方式¹⁾やコンプライアンス機構²⁾を採用するのが一般的であった。接触によるきず、摩耗粉を嫌う場合には、これらの方式を採用できない。そこで、はめ合い部品間の相対的な位置を計測し、はめ合い作業を行なう自動組込機を開発した。

3.1 自動組込機のシステム構成

図3に示したような大径、微小すきまのはめ合いでは、個々

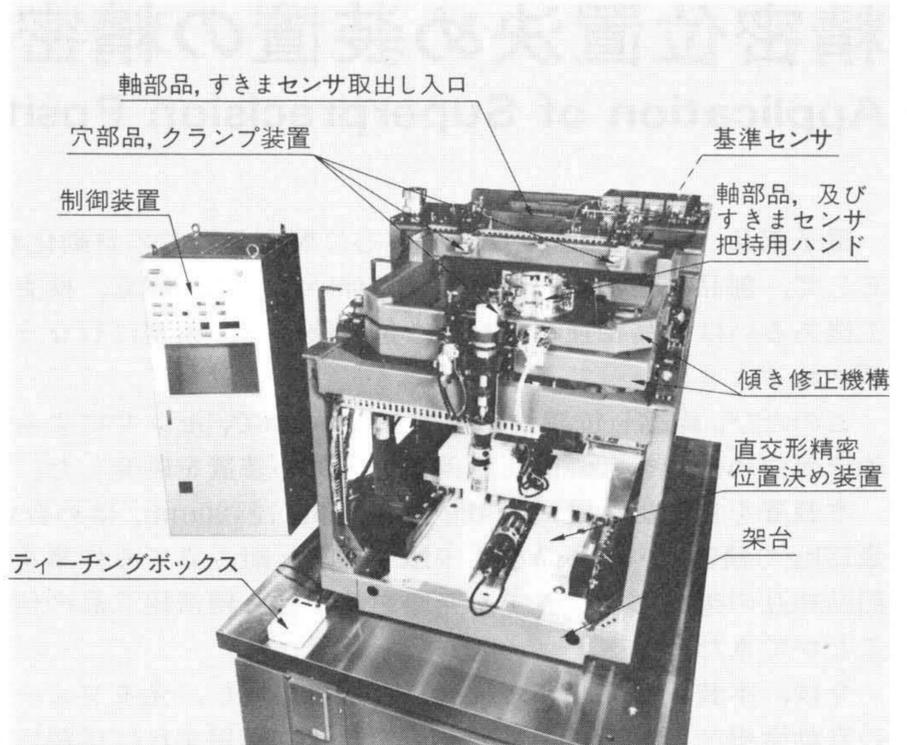


図2 自動組込装置の外観 精密位置決め装置用制御装置により、周辺機(傾き修正テーブル)2軸とセンサデータの処理を行なっている。

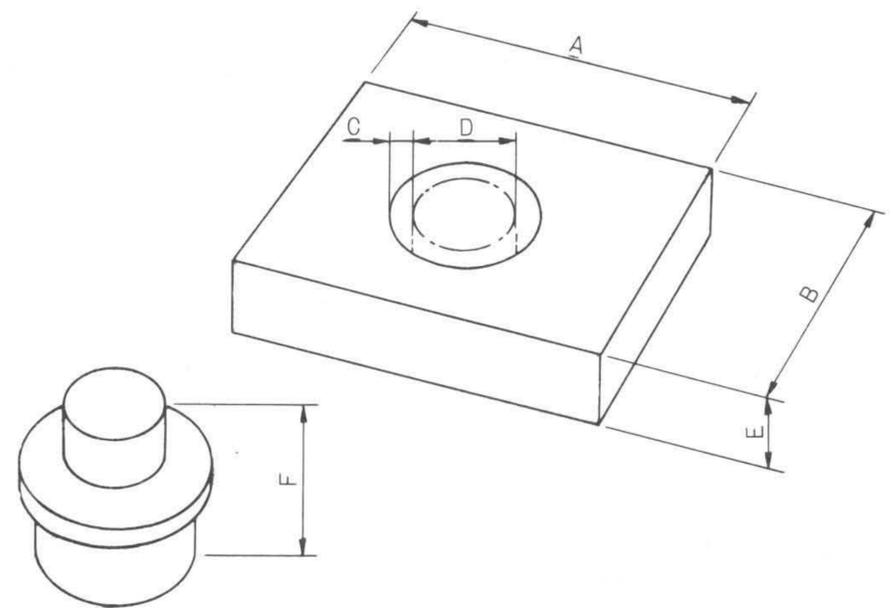


図3 自動組込装置を適用した部品(外形) 表2に各部寸法を示す。

表2 適用部品の外形寸法 図3に示す部品の外形寸法、重量を示す。直径に比べすきまが小さいことが分かる。

記号	寸法
A	740mm
B	400mm
C	min 18μm
D	100mm
E	75mm
F	270mm
穴部品重量	35kg
軸部品重量	15kg

の部品の寸法が大きいため、加工誤差の累積が、すきま量よりも大きくなることが多い。この場合、基準面などによる直接的な位置決めだけでは、はめ合い作業を円滑に行なうことができない。また、温度変化による部品や装置の熱膨脹により、はめ合い作業位置がずれてしまう問題点も生ずる。

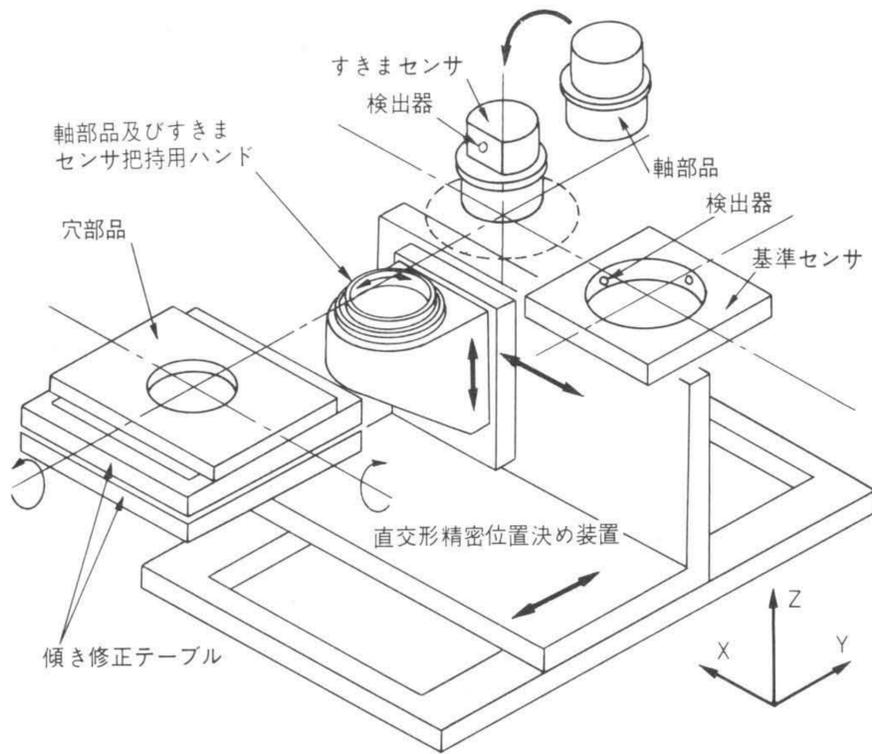


図4 自動組込機のシステム構成 軸部品・すきまセンサを把持する位置決め装置、穴部品の傾きを修正するテーブル及びすきまセンサ、基準センサによって構成している。

今回開発した自動組込機は、はめ合い面の相対位置を計測することにより、前述の問題を解決した。本機の特長は、穴位置を計測するすきまセンサと、位置決め装置上のハンドが把持している部品の位置を計測する基準センサを設けている点である。図4にシステム構成を示す。

はめ合い作業を行なう場合、計測と同時に挿入作業を行なうのが、作業時間短縮の点からも望ましいが、今回の対象部品のように同時計測できる計測面を設けられない場合が多い。本組込機では、ハンドで把持する軸部品と同一重量のすきまセンサを同一ハンドで把持させ、穴位置を計測した後、軸部品に持ち替えて挿入作業を行なう方式とした。この場合には、持ち替え時に、ハンドでの把持誤差が生ずるおそれがある。この誤差を基準センサで計測し、先に計測した穴位置の検出値を補正するようにした。

すきまセンサは、穴位置と同時に、穴部品の傾きも計測し、この計測結果に基づいて穴部品のクランプ装置に設けた傾き修正機構により、傾きを修正する。X、Y軸周りの、この傾き修正機構は、位置決め装置の制御装置により制御する。

以上の計測・演算結果から、挿入点位置を自動的に求めて位置決めし、はめ合い作業を行なう。

3.2 計測

自動組込機では、前述したように穴・軸部品の相対的な傾きと、平面内の穴位置の2種類の計測を行なう。

(1) 傾き計測

傾き計測の原理を図5に示す。

位置決め装置のハンドに把持したすきまセンサを、あらかじめ教示した位置に移動させ、検出器と穴内壁とのすきま l_1 を計測する。次に、Z軸をストローク H だけ上昇させ、すきま l_2 を計測する。この2回の計測値と(1)式により、Z軸に対する穴の軸心の傾き角 α が求まる。

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{l_1 - l_2}{H} \dots\dots\dots(1)$$

この計測をX、Y軸両方向について行ない、各方向に対する傾きを求めて、2方向の傾き修正を行なう。

(2) 平面位置計測

図6に、計測から挿入までのフローチャートを示す。それぞれの計測結果からの計算式は下記のとおりである。

(a) 穴位置計測 (図7参照)

位置決め装置の位置座標 $A(X_1, Y_1)$ とすきまセンサによる計測値 $l_{x1}, l_{x2}, l_{y1}, l_{y2}$ から、穴中心位置座標 $B(X_H, Y_H)$ を(2)式から求める。

$$\begin{cases} X_H = X_1 + (l_{x1} - l_{x2}) / 2 + \delta_x \\ Y_H = Y_1 + (l_{y1} - l_{y2}) / 2 + \delta_y \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

ここで δ_x, δ_y は、すきまセンサ中心 D と位置決め装置の相対位置を示し、次の(b)項で求める。

(b) ハンドの把持位置計測

(i) すきまセンサの位置計測 (図7参照)

すきまセンサを把持し、位置決め装置をあらかじめ教示した座標 $C(X_{01}, Y_{01})$ に位置決めする。ここで、基準センサにより、すきまセンサ位置 $S_{x1}, S_{x2}, S_{y1}, S_{y2}$ を計測し、

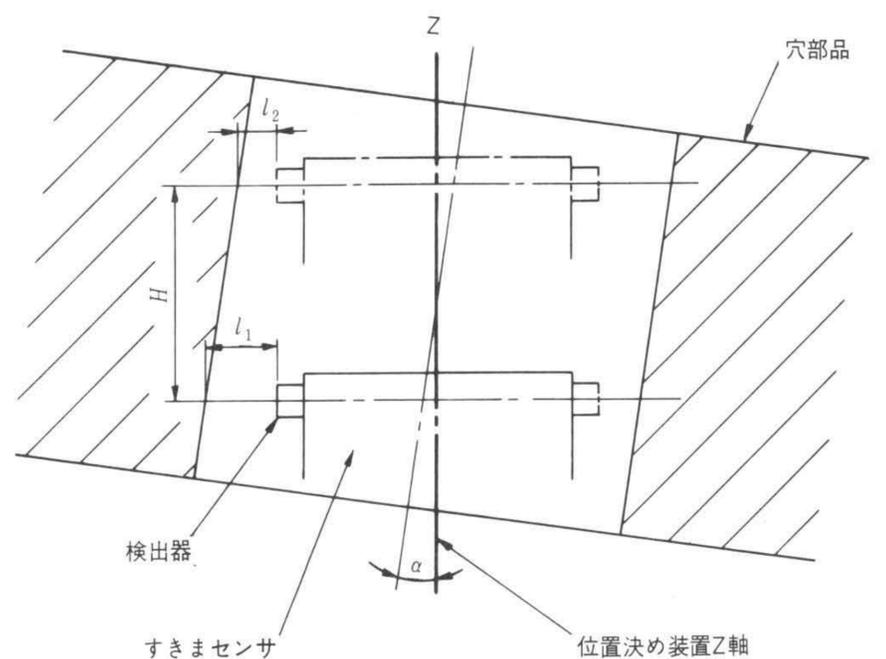


図5 傾き計測の原理説明図 位置決め装置のZ軸に対する穴部品の軸心の傾きを計測する。

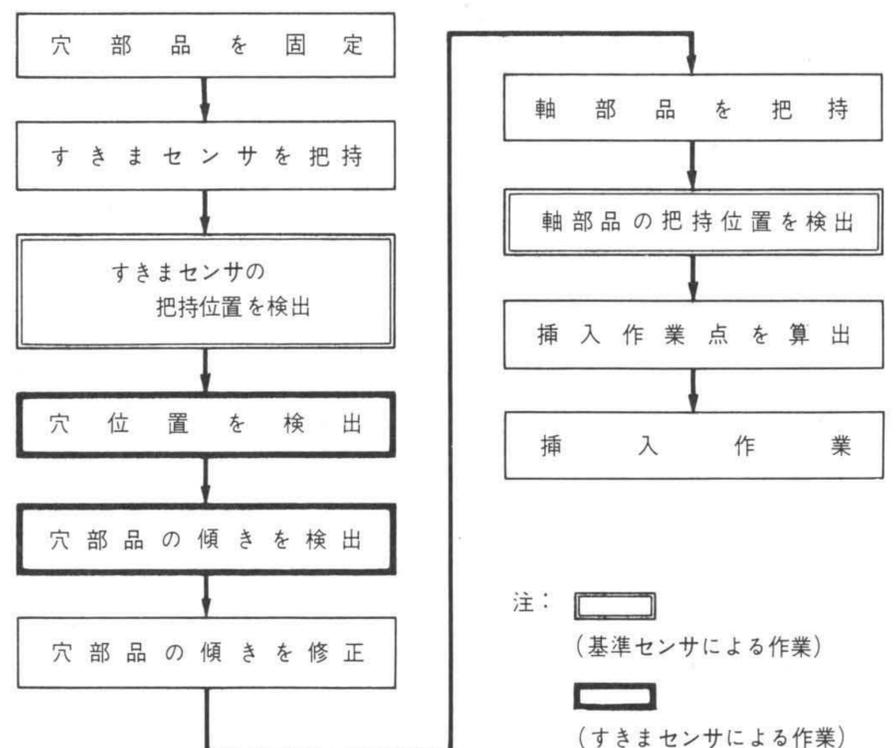


図6 作業フローチャート 穴部品の固定から挿入作業までに行なう計測内容と、一連の作業フローを示す。

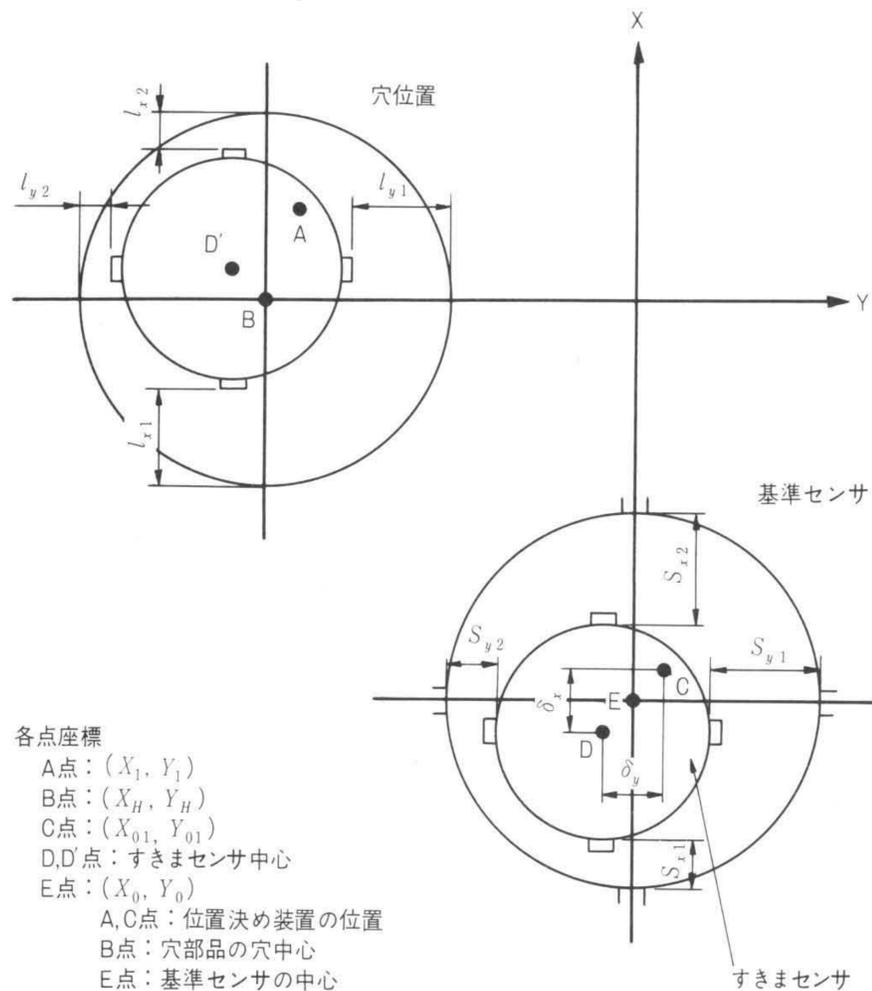


図7 穴位置計測説明図 基準センサとすきまセンサにより、基準センサ中心に対する穴中心位置を求めることができる。

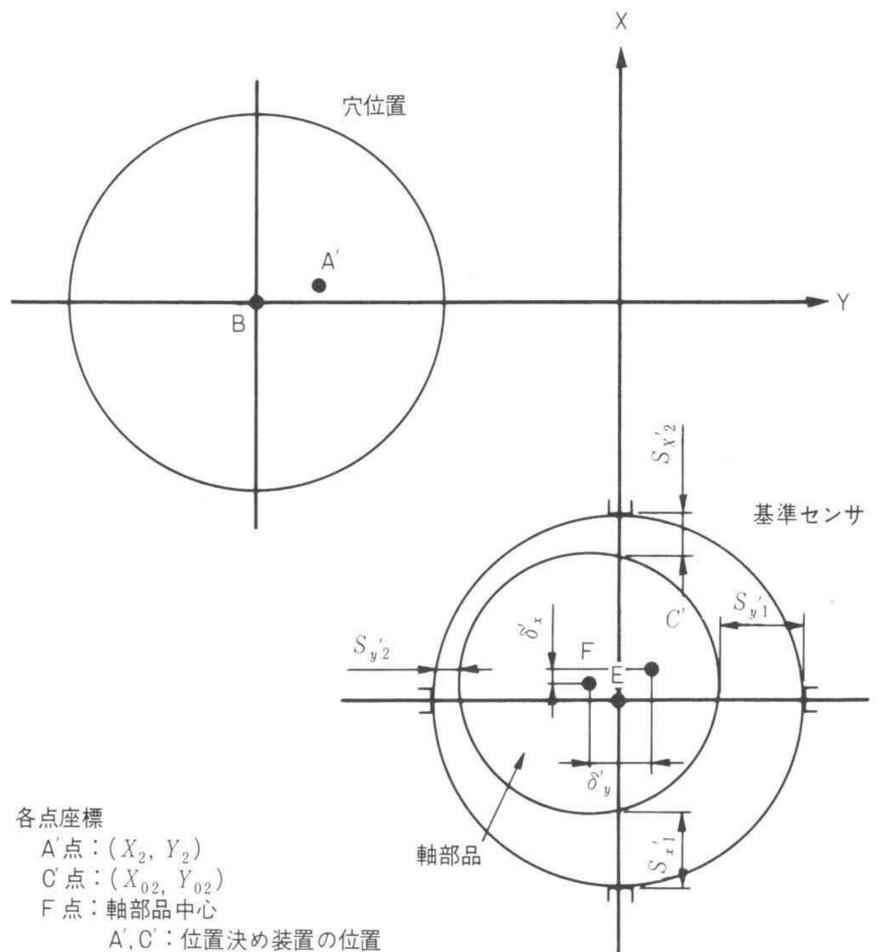


図8 挿入作業位置算出説明図 基準センサにより、軸部品とすきまセンサとの把持誤差を計測することにより、位置決め装置の挿入作業位置を求めることができる。

すきまセンサ中心座標Dと基準センサ中心座標E (X_0, Y_0) との差が求まる。E点は固定であるため、座標EとCの相対位置は、位置決め装置の位置検出値から求まる。以上により、座標DとCの相対位置 δ_x, δ_y は、次の(3)式から求まる。

$$\left. \begin{aligned} \delta_x &= X_0 - X_{01} + (S_{x1} - S_{x2}) / 2 \\ \delta_y &= Y_0 - Y_{01} + (S_{y1} - S_{y2}) / 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

(ii) 軸部品の位置計測 (図8参照)

(i)項と同様にして、位置決め装置座標C' (X_{02}, Y_{02}) と軸部品中心座標Fの相対位置 δ'_x, δ'_y を基準センサによる検出値 $S_{x1}', S_{x2}', S_{y1}', S_{y2}'$ と次の(4)式から求める。

$$\left. \begin{aligned} \delta'_x &= X_0 - X_{02} + (S_{x1}' - S_{x2}') / 2 \\ \delta'_y &= Y_0 - Y_{02} + (S_{y1}' - S_{y2}') / 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

以上の計測と演算から、X, Y各方向について、すきまセンサと軸部品の把持誤差が求まる。

(c) 位置決め装置の挿入点座標の算出(図8参照)

(a), (b)の計算結果から、位置決め装置の挿入点座標A' (X_2, Y_2) を(5)式から求める。

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_H - \delta'_x \\ Y_2 &= Y_H - \delta'_y \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

上記(a)~(c)の計測、演算は、十分短い時間内に処理するため、周囲の温度変化による影響を受けない。

以上の穴・軸部品の相対位置計測システムと直交形精密位置決め装置により、直径100mm, 最小すきま18 μ mの部品のはめ合い作業を非接触で行なうことができた。

4 結 言

微細作業の自動化の要求にこたえるため、可搬重量25kg, 繰返し位置決め精度 $\pm 5 \mu$ mの直交形精密位置決め装置を開発した。また、穴・軸部品の相対位置を計測するシステムと本装置を適用することにより、直径100mm, 最小すきま18 μ mのはめ合い作業を非接触で行なう自動組込機を開発した。

今後、精密位置決め装置をシリーズ化するとともに、加工機、計測機などの搭載形を加工・検査の分野へも適用し、人手では困難な微細作業の自動化に貢献したい。

参考文献

- 1) K. Takeyasu, et al.: Precision Insertion Control Robot and its Application, Trans. ASME, Vol. 98, No.4, pp.1313~1318 (Nov. 1978)
- 2) D.E. Whitney, et al.: What is the Remote Center Compliance (RCC), C.S.Draper Labo., Inc., Report p. 728, (Nov. 1978)